

2018年 2月9日

## 「博士学位請求論文」審査報告書

審査委員	(主査)	理工学部 専任教授	
		氏名 武野 純一	㊞
	(副査)	理工学部 専任教授	
		氏名 林 陽一	㊞
	(副査)	理工学部 専任准教授	
		氏名 飯塚 秀明	㊞

1 論文提出者 許 瀚文 (Hanwen XU)

2 論文題名 人工意識を用いたヒト意識機能のモデル化に関する研究

(英文題) A Study on Modeling Human Consciousness Function  
by Using Artificial Consciousness

### 3 論文の構成

本論文は8章により構成されている。

第1章は「序論」で研究背景と研究目的について述べている。

第2章は「意識」について述べている。ここでは、ヒト意識に関する歴史的に重要な哲学や心理学などによる関連研究を紹介し、それらの研究成果に基づき、本研究で採用した意識の定義について説明している。

第3章は「概念の衝突」について述べている。ここでは、著者の考察に基づき採用した意識モジュールと、それらの組み合わせからなる意識システムについて考察すると共に、これら意識システムと人間の概念の仕組みについて考察を行っている。そしてさらに著者が提案した理論「概念の衝突」について説明し、その理論を用いた二つの認知モデルを提案している。1つは「サーマルグリルイリュージョン」の認知モデルであり、2つ目は「ルビンの壺」の認知モデルである。

第4章は「意識システムの提案」をしている。前章で提案したモデルに関する意識システムの構成について述べている。

第5章は、「プログラム開発とシミュレーション実験」である。ここでは、3章で提案した2種の認知モデルの為に開発したシミュレーション・プログラムの詳細と実施結果の報告である。

第6章は「結語」となっている。

#### 4 論文の概要

本論文は人工意識を用いたヒト意識機能のモデル化に関する研究について述べている。ヒトの意識は古代から現代までたくさんの研究が行われている。しかしながらヒト意識についてはいまだ科学的に定められているわけではない。著者はヒト意識の多くの機能を説明できるニューラルネットワークモデルを定め、いくつかの意識現象に対して、そのモデルを用いて検討を行っている。

著者はまず初めにサーマルグリルイリュージョンという現象に着目した。一種の温感錯覚である。ヒトは 20℃を冷たく感じ、40℃を暖かく感じている。しかし、それらの温度を持つ熱源を複数インターレース状に狭い間隔で配置した装置を準備して、ヒトの手のひらをその装置に接触させる実験を行う。するとヒトはその接触部に焼け付く様な感覚を感じることが知られている。著者は自らピエゾ素子を使用して小規模なサーマルグリルイリュージョンの実験装置を作りその現象について検証すると共に、脳科学からの知見を踏まえながら、この現象を引き起こすニューラルネットワークによるモデルを構築した。その際著者はこのモデルの主要部にニューラルネットワークで構成した意識モジュール MoNAD (the Module of Nerves for Advanced Dynamics) を用いている。この意識モジュールは 2 次サイバネティックスと呼ばれ、自己参照機能をもつニューラルネットワークの構造体として知られている。著者のモデル設計ではシステムの入力部に複数の温感センサーを一次的に配置し、それらセンサーの出力値はその後 MoNAD 群に入力され統合的な処理が実施される。その処理の基本は、それぞれ異なるセンサー出力を MoNAD で統合するとき MoNAD からの認知出力が不定値になることを利用している。モデルでは、それらの不定値を多数決処理によって、不定値を伝搬させている。

著者は、このモデルのプログラムを開発し、シミュレーション実験によってサーマルグリルイリュージョンモデルの有効性を示している。

続いて、著者は「ルビンの壺」と呼ばれる有名な錯視現象について研究を行った。その研究によって著者は多義性の図形を用いた錯視現象は先に述べたサーマルグリルイリュージョンと類似した現象である事を発見した。それは「概念の衝突」という理論である。この理論は本論文におけるオリジナルで重要な考察である。

この錯視現象は一般に多義性の図形を認知する問題と言われている。すなわちヒトは一つの図形（画像）から複数のまとまりのある図形を視覚によって認識できるのである。ルビンの壺という対象画像では、中央部に壺が、左右部にヒトの横顔が認識できる。この認識問題は心理学でいうゲシュタルト効果に関連する。この現象はヒトの意識という問題に置き換えると不思議な現象が知られる。すなわち、壺として見ている時は壺のみが意識され、顔が見えると顔のみが意識される。すなわち、一方が意識されている時は他方が意識されることはないし、またそれぞれの対象は時間の経過と共に入れ替わりながら意識することになる。そして著者はこれらの現象を意識モジュールによる意識システムを用いてモデル化することを試みた。

そのモデルとは、入力部にルビンの壺の画像を与え、出力部は意識した対象を発声させる意識システムである。意識システムは理性サブシステム、情動感情サブシステム、そして前二者の調停をする連合サブシステムにより構成した。夫々は複数の意識モジュールにより作られた。理性サブシステムは画像の意識部がある。大別して壺の概念、顔の概念、そしてルビンの壺の

概念がある。概念は夫々の意識モジュールに学習させている。この時、壺の概念や顔の概念は画像の入力部に接続しているが、ルビンの壺の概念は画像の入力部に接続しているわけではなく、壺や顔の概念と直接に接続している。壺の概念と顔の概念の相互接続は無い。これは勿論、壺の概念と顔の概念を接続させる情報連絡はない。いわば、壺や顔の概念は1次系、ルビンの壺の概念は高次系の概念と言える。この高次系は一種のゲシュタルト効果の一つの説明をしていると言える。この設計によると、壺の概念はルビンの壺の概念に連絡し、またルビンの壺の概念はさらに顔の概念に連絡する情報プロセスを作っている。逆の方向にも情報が連絡できることも明白である。さらに著者は意識システムの情動感情サブシステムの設計を行った。このサブシステムは意識システムを構成する各種モジュールのプロセス順行性（MoNADの発火）の良さを評価している。いわばこのサブシステムは意識システムの快や不快を評価できる。

著者は、理性サブシステムと情動感情サブシステムの連携について次のようにシステムを設計した。その概要は、すなわち、意識システムの視覚システムの視線が壺を観察していれば、理性サブシステムにある、壺の概念がプロセス巡行性を示す。そして、壺の概念からルビンの壺の概念に情報が送られ、さらに顔の概念へ情報が送られる。すると顔の概念は予期信号を連合系の意識モジュールに出し、視線方向を変更する指令を出し、意識システムの視線が変更される。その結果、視線が顔の画像を捕らえることにより、理性系の顔概念のプロセスが巡行状態となる。続いて、このプロセスが逆に進行する。すなわち顔の概念からルビンの壺の概念へ情報が連絡し、さらに壺の概念へと情報が伝わる。このように、意識システムは、壺と顔の意識が変更し、そのたびにシステムの出力から「壺」「顔」という発声ができる。

著者は、このモデルのプログラムを開発し、シミュレーション実験によってルビンの壺という錯視現象のモデルの有効性を示した。

## 5 論文の特質

本論文はヒト意識の数理モデル化について論じている。

本論文は世界的な規模で行われた「脳の10年」という研究や、現在の「BRAIN」プロジェクトにおいて行われている「ヒト脳の理解」という研究の位置づけの中で一つの研究分野を切り開いているといえる。それは、BRAINプロジェクトの様にヒト脳をMRIやCTといった装置を用いて脳細胞のネットワーク構造を調査していくという方法ではなく、むしろヒトの主観的現象に着目してその脳細胞ネットワークの構造を推定していく方法である。その手法は前者が「ヒト意識の現象」という主観的な現象をできるだけ避けようとするのに対して、後者の手法はその主観的な現象をできるだけ説明可能とする脳細胞ネットワークの基盤を定めながら、ヒトの持つ主観的現象を引き起こす脳のネットワークの構築を試みている。本手法は、そのネットワーク構築から発現する現象とヒト意識の現象とを比較することによって、「ヒト意識の現象」の一つの客観化を成功させようとする試みである。前者の手法はヒト意識の主観的な現象に直接的なアプローチが困難であるのに比べて、本論文の手法はヒト意識の主観的な現象に直接的なアプローチを可能としているという特質がある。

本論文ではまずサーマルグリルイリュージョンの意識モデルの構築をしている。

本論文では続く課題として「ルビンの壺」の視覚による錯覚現象を意識モデルで表現している。「壺」を意識したり、「顔」を意識したり、それが繰り返される現象として有名である。本

論文では「壺」の概念と「顔」の概念が意識モデルの中で繰り返し競争するシステムとして表現している。本論文では「繰り返し競争する」現象を概念が「衝突する理論」の一適応としてシステムを構築している。上記で述べた二種のヒトの主観的現象を概念の衝突現象としてモデル化している点は本論文の大きな特質である。

## 6 論文の評価

本論文は著者が明治大学大学院博士後期課程に在学中に研究を進めた「人工意識を用いたヒト意識機能のモデル化に関する研究」についての研究成果にもとづいている。

サーマルグリルイルージョンの研究については、アメリカ・ニューヨーク市において開催された査読付き国際会議 BICA2015 で口頭発表を行い、その内容は論文集としてオランダの Elsevier 出版から発刊された。

また「ルビンの壺」の研究については、フランス・リオン市において開催された査読付き国際会議 BICA2016 で口頭発表を行い、その内容は論文集として同じくオランダの Elsevier 出版から発刊された。

そして、「ルビンの壺」のプログラム開発とシミュレーション実験については、ロシア・モスクワ市において開催された査読付き国際会議 BICA2017 で口頭発表を行い、その内容は論文集として同様にオランダの Elsevier 出版から発刊された。

これら 3 編の論文はいずれも本論文の著者が博士後期課程の期間中に研究を行い、その成果を発表している。またその研究成果は国際会議 BICA、生物学から学んだ認知処理に関する世界的な規模で開催される学会である「The Biologically Inspired Cognitive Architectures Society：生物学的認知設計学会」で発表している。特筆すべき事は、著者がロシア・モスクワにおいて開催された BICA17 において「BICA Research Prize」を受賞するという栄誉を受けた事である。

これらの経緯から、本論文における研究内容は世界的に高い評価を受けていると判断する。

## 7 論文の判定

本学位請求論文は、理工学研究科において必要な研究指導を受けたうえ提出されたものであり、本学学位規程の手続きに従い、審査委員全員による所定の審査及び最終試験に合格したので、博士（工学）の学位を授与するに値するものと判定する。

以 上